

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии PhD по направлению подготовки: 8D071 – «Инженерия и инженерное дело», образовательной программе: 8D07102 – «Транспорт, транспортная техника и технологии»

ЖУМАБЕКОВ АЙДАР ТЕМИРГАЛИЕВИЧ

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И РАСЧЕТ ХОДОВОЙ ЧАСТИ МОБИЛЬНОГО ПУТЕПРОВОДА

Актуальность диссертационной работы. Диссертационная работа выполнена в рамках реализации государственных приоритетов Республики Казахстан, отражённых в Национальном проекте «Сильные регионы - драйвер развития страны» (Постановление Правительства РК № 729 от 12.10.2021), Концепции развития транспортно-логистического потенциала Республики Казахстан до 2030 года (Постановление Правительства РК № 1116 от 30.12.2022) и Концепция развития жилищно-коммунальной инфраструктуры Республики Казахстан на 2023–2029 годы (Постановление Правительства РК от 23 сентября 2022 года № 736). Указанные программные документы предусматривают модернизацию коммунальных сетей городов, повышение пропускной способности улично-дорожной сети, снижение транспортных заторов и внедрение инженерных решений, обеспечивающих устойчивость городской инфраструктуры при проведении ремонтных работ.

Исследование также выполнено в рамках грантового проекта AP23487832 «Разработка конструкции и расчет мобильного путепровода» договора № 258/ГФ24-26 от 09.09.2024г.

В условиях плотной городской застройки прокладка, ремонт и замена подземных коммунальных коммуникаций (теплотрасс, водопроводов, канализационных и электрических сетей) неизбежно связаны со вскрытием проезжей части и частичным либо полным перекрытием движения транспорта. Подобные работы приводят к существенному снижению пропускной способности улично-дорожной сети, образованию заторов, увеличению времени в пути, росту расхода топлива, повышению выбросов выхлопных газов и увеличению аварийности в зоне проведения дорожных работ.

Особенно остро эта проблема проявляется в центральных районах городов, где транспортная инфраструктура функционирует на пределе своих возможностей и отсутствуют резервные маршруты для перераспределения потоков.

Традиционные методы организации движения в период проведения ремонтных работ, такие как устройство объездов, реверсивные полосы движения, оптимизация светофорного регулирования и применение интеллектуальных транспортных систем, позволяют лишь частично компенсировать последствия перекрытий. Эти меры не устраняют основной проблемы физического ограничения пропускной способности дороги и невозможности обеспечить непрерывность транспортного потока.

В этих условиях особую актуальность приобретает применение временных путепроводов, устанавливаемых непосредственно над зоной проведения работ. Такие конструкции позволяют сохранить движение транспорта без изменения маршрутов и без снижения пропускной способности дороги, что существенно снижает негативные транспортные, экономические и экологические последствия.

Следовательно, разработка и исследование мобильных путепроводов, предназначенных для эксплуатации в условиях проведения коммунальных и дорожных работ, является актуальной научно-технической задачей, направленной на повышение устойчивости городской транспортной инфраструктуры.

В ранее проведенных исследованиях Ганюковым А.А. (диссертационная работа: «Разработка конструкции и расчет мобильного путепровода, применяемого при ремонте городских коммунальных сетей») была предложена конструкция мобильного путепровода, представляющего собой однопролётную ферменную металлическую конструкцию, предназначенную для временной организации движения транспорта над аварийными и ремонтируемыми участками дорог.

Конструкция путепровода выполнена в виде пространственного каркаса из продольных и диагональных связей, обеспечивающих: высокую пространственную жёсткость, равномерное распределение нагрузок по пролетному строению, устойчивость конструкции при действии подвижной нагрузки.

Ключевой особенностью конструкции, принципиально отличающей её от известных временных мостов и путепроводов, является наличие собственной колесной ходовой части, за счёт которой путепровод транспортируется к месту установки на собственной осевой базе при помощи тягача, после доставки надвигается над траншеей и переводится из «режима транспорта» в «режим моста» путём подъёма колес и опускания несущей конструкции на опоры.

Следовательно, мобильный путепровод был рассмотрен как единая инженерная система, в которой ходовая часть исследована с позиций прочности, жёсткости и динамики рам передней и задней осей как элементов общей металлоконструкции. Были выполнены статические и динамические расчёты, изучено влияние собственных частот и обоснованы конструктивные параметры рам.

Однако в этих исследованиях конструкция ходовой части не рассматривалась как самостоятельная инженерная подсистема, определяющая мобильность, технологичность развертывания, эксплуатационную безопасность и приспособленность путепровода к условиям плотной городской застройки. В частности, не были рассмотрены вопросы кинематики перемещения осей и кареток при надвижке, механизмы фиксации и самопозиционирования, маневренность в стеснённом пространстве, влияние габаритов и подвижных элементов на обзор для водителей, а также методика выбора рациональной схемы ходовой части с учётом реальных эксплуатационных требований. Также не проводился системный анализ возможных вариантов разработки ходовой части и отсутствует инженерная методика расчёта ходовой части подобного

типа. В связи с этим исследования, направленные на разработку конструкции и методики расчёта ходовой части мобильного путепровода, являются **актуальными**.

Конструкция предлагаемого путепровода отличается новизной и устанавливает повышенные требования не только к пролётной части, но и к конструкции ходовой части.

Основная идея является возможность повышения эффективности эксплуатации мобильного путепровода за счёт разработки передвигающейся конструкции и расчёта ходовой части мобильного путепровода.

Целью исследования является получение зависимостей, позволяющих разработать конструкцию и инженерную методику расчёта ходовой части мобильного путепровода.

Для достижения поставленной цели решены следующие **задачи**:

- анализ применения модульных и мобильных путепроводов и их конструкций.

- обоснование необходимости разработки передвигающейся ходовой части путепровода;

- анализ конструкций ходовых частей транспортных средств;

- морфологический анализ и синтез возможных конструкций ходовой части и выбор перспективный из полученного множества по весомости критериев надёжности, проходимости, массы, стоимости;

- моделирование работы путепровода в программной среде SolidWorks;

- разработка чертежей путепровода и создание 3D моделей;

- анализ деформации, напряжений, и запаса прочности конструкции путепровода;

- разработка конструктивного решения путепровода по результатам моделирования;

- разработка и изготовление экспериментального стенда, проведение экспериментов и отработка полученных результатов;

- установление методами теории подобия и анализа размерности безразмерных критериев, позволяющих переносить полученные результаты на конструкции других размеров;

- разработка методики расчёта ходовой части путепровода и реализация результатов исследования.

Методы исследования. В работе применены методы морфологического анализа и синтеза вариантов ходовой части, конечно-элементное моделирование в программной среде SolidWorks, методы теории подобия и анализа размерностей, инженерных расчётов, экспериментального исследования и обработки результатов.

Экспериментальные исследования выполнены на разработанном стенде мобильного путепровода с применением методов модельного эксперимента и измерения нагрузок и деформаций. Обработка результатов осуществлялась методами регрессионного анализа, теории подобия и анализа размерностей, а

также методами технико-экономической оценки эффективности применения мобильного путепровода.

Научная новизна исследования заключается в получении зависимостей, описывающих работу мобильного путепровода с подвижной ходовой частью и обеспечивающих его расчет и проектирование с учетом условий транспортирования, позиционирования и устойчивости в рабочем положении.

Научная новизна конкретизируется в следующем:

- впервые получены безразмерные зависимости в виде системы критериев подобия, устанавливающие взаимосвязь между инерционными, упругими, демпфирующими и нагрузочными параметрами мобильного путепровода, позволяющие количественно оценивать работу и обеспечивающие перенос результатов исследования на натурную конструкцию;

- получена совокупность зависимостей, позволяющих выполнять расчет ходовой части мобильного путепровода в транспортном, рабочем и фиксирующем режимах.

Научные положения, выносимые на защиту:

- конструкция мобильного путепровода с подвижной ходовой частью, обеспечивающей транспортирование, позиционирование и устойчивость в рабочем положении;

- результаты морфологического анализа и синтеза вариантов ходовой части, позволившие обосновать рациональное конструктивное решение по критериям надёжности, проходимости, массы и эксплуатационной пригодности;

- расчётные зависимости и конечно-элементные модели, описывающие напряжённо-деформированное состояние и устойчивость конструкции мобильного путепровода и его ходовой части;

- регрессионные зависимости, устанавливающие связь между условиями нагружения и прогибами конструкции путепровода, полученные на основе обработки результатов экспериментальных исследований и расчётов;

- безразмерные критерии подобия, позволяющие переносить результаты исследования и экспериментов на натурные конструкции мобильных путепроводов различных размеров и условий эксплуатации;

- методика расчёта и проектирования ходовой части мобильного путепровода;

- результаты экспериментальных исследований работоспособности конструкции мобильного путепровода, подтверждающие возможность её практического применения.

Автор защищает:

- конструкцию мобильного путепровода с новой схемой передвигающейся ходовой части;

- безразмерные критерии подобия, определяющие условия работы конструкции;

- регрессионные зависимости, устанавливающие связь между условиями нагружения и прогибами конструкции путепровода;

- результаты экспериментальных исследований и оценку экономической эффективности;

- практическую методику расчёта и проектирования ходовой части.

Объекты исследования - временные мостовые конструкции и путепроводы.

Предмет исследования - перемещающаяся ходовая часть мобильного путепровода.

Практическая значимость заключается в разработке конструкции мобильного путепровода и инженерной методики расчёта его ходовой части, позволяющих обеспечить транспортирование, быстрое развёртывание и надёжную эксплуатацию сооружения в условиях проведения дорожных и коммунальных работ.

Результаты исследования могут быть использованы при проектировании и внедрении временных путепроводов для сохранения непрерывности движения транспорта, снижения заторов, уменьшения времени задержек и расхода топлива, а также повышения безопасности дорожного движения.

Разработанные конструктивные решения, расчётные зависимости и рекомендации по эксплуатации могут применяться в практике проектных организаций, органов управления транспортной инфраструктурой, а также предприятий, выполняющих коммунальные, дорожно-ремонтные и строительные-монтажные работы.

Результаты исследований переданы в ТОО «ИНСТИТУТ ГРАДИЕНТ ПРОЕКТ» и внедрены в учебный процесс дисциплины «Классификация и устройство транспортной техники» для обучающихся бакалавриата 1 курса образовательной программы 6В07106 - «Транспорт, транспортная техника и технологии».

Достоверность результатов диссертации обеспечивается результатами программного моделирования конструкции путепровода, воспроизводимостью результатов экспериментов, применением методов обработки экспериментальных данных и использованием критериев подобия для переноса результатов на натурные условия эксплуатации.

Все разделы диссертации выполнены в методической последовательности и логически взаимосвязаны. Все задачи, поставленные диссертантом решены, цель исследования достигнута. Практическая значимость и научная новизна соответствует поставленной цели, задачам и названию диссертации.

Краткое содержание.

В первой главе диссертации выполнен анализ современного состояния проблемы транспортных заторов в условиях проведения дорожных и коммунальных работ, обоснована актуальность разработки мобильных путепроводов для обеспечения непрерывности движения транспорта. Рассмотрены существующие организационно-технические решения (реверсивное движение, временные объезды, интеллектуальные транспортные системы), выявлены их преимущества и ограничения. Проанализирован мировой опыт применения временных мостов и путепроводов, а также отечественные разработки в этой области. Проведен анализ конструктивных решений мобильных и модульных путепроводов и обоснован выбор мобильного путепровода как объекта исследования, требующего дальнейшего совершенствования, в том числе в части разработки и расчёта его ходовой части.

Во второй главе диссертации выполнен анализ конструкций ходовых частей транспортных средств и определены требования к ходовой части мобильного путепровода. Проведён морфологический анализ и синтез возможных конструктивных решений, на основе которого обоснована оптимальная конфигурация ходовой части. Разработана принципиальная схема ходовой части мобильного путепровода, обеспечивающая транспортирование, точное позиционирование и фиксацию конструкции в рабочем положении.

В третьей главе диссертации выполнено моделирование мобильного путепровода и его ходовой части в программной среде SolidWorks, разработаны рабочие чертежи и 3D-модель конструкции. Проведён конечно-элементный анализ напряжённо-деформированного состояния, устойчивости и работоспособности платформы и несущих элементов ходовой части при эксплуатационных нагрузках. По результатам моделирования обосновано конструктивное решение мобильного путепровода, подтверждена прочность, жёсткость и надёжность конструкции, а также корректность работы механизмов перемещения и фиксации.

В четвертой главе диссертации разработан экспериментальный стенд мобильного путепровода в масштабе 1:4, предназначенный для проверки работоспособности и эффективности конструктивных решений ходовой части. Разработана методика проведения экспериментальных исследований, Проведены опыты на экспериментальном стенде путепровода с изменением массы нагружаемой тележки.

На основе экспериментальных данных установлены регрессионные зависимости, подтверждена адекватность расчётной модели и работоспособность путепровода при эксплуатационных нагрузках.

В пятой главе диссертации рассмотрены вопросы практической реализации результатов исследования, выполнена оценка транспортной, экономической и экологической эффективности применения мобильного путепровода в условиях городской улично-дорожной сети. Разработана методика расчёта ходовой части с учётом транспортного и рабочего режимов, а также система критериев подобия, обеспечивающая перенос результатов моделирования и эксперимента на натурные условия эксплуатации. Сформулированы технические требования и эксплуатационные условия ходовой части, обоснована возможность внедрения разработанного мобильного путепровода в практику коммунальных и дорожных работ.

Личный вклад диссертанта. Автором проведён анализ существующих конструкций путепроводов и ходовых частей, обоснована необходимость разработки новой конструкции ходовой части и выбран рациональный вариант на основе морфологического анализа и синтеза. Выполнены моделирование конструкции мобильного путепровода и его ходовой части, разработаны 3D-модели и рабочие чертежи, проведен анализ напряжённо-деформированного состояния и устойчивости элементов конструкции. Разработан экспериментальный стенд и проведены экспериментальные исследования с последующей обработкой результатов и регрессионным анализом. Совместно с научными руководителями разработана инженерная методика расчёта и система

критериев подобия. Также предложена методика оценки транспортной и экономической эффективности и сформулированы практические рекомендации по проектированию и эксплуатации мобильного путепровода.

Публикация и апробация работы. Основные положения диссертации опубликованы в двух статьях, входящих в базы данных Web of Science и Scopus, в двух статьях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, в одном свидетельстве о государственной регистрации прав на объекты авторского права, а также в двух тезисах международных научно-практических конференций.

В статье «Optimization of Mobile Overpass Support Placement Considering the Nonlinear Properties of the Soil Foundation», опубликованная в журнале «Applied Science» входящем в базу данных Scopus, (перцентиль 79, квартиль Q2. -2026. Т. 16, № 4. статья 2075. <https://doi.org/10.3390/app16042075>) вклад автора заключался в анализе научных публикаций по проблемам и причинам возникновения транспортных заторов, изучении мирового опыта применения мобильных путепроводов и существующих аналогов, а также в написании и подготовке первоначального варианта статьи.

В статье «Development of the undercarriage of a Mobile Overpass for Operation During Repair Works in Dense Urban Areas», опубликованной в журнале «Applied Sciences», входящем в базу данных Scopus (перцентиль 79, квартиль Q2. 2026. Т. 16., №8. статья 3879. <https://doi.org/10.3390/app16083879>) вклад автора включал выполнение морфологического анализа и синтеза ходовой части мобильного путепровода, разработку экспериментального стенда мобильного путепровода, составление плана и порядка проведения экспериментальных исследований.

В статье «Justification of the effectiveness of developing and using a mobile overpass», опубликованная в журнале Material and Mechanical Engineering Technology, (2026, №1 http://mmet.kstu.kz/download/articles/02042026022750_digest.pdf) вклад автора заключался в обосновании методики оценки транспортной, экономической и эксплуатационной эффективности, выполнении расчётов экономического эффекта от внедрения мобильного путепровода, а также обсуждении полученных результатов и формулировании выводов исследования.

В статье «Тарихтан қазіргі заманға дейін: көлік инфрақұрылымындағы мобильді жол өтпелерінің рөлі», опубликованной в журнале «Университет Еңбектері» (№ 2 (99), 2025, раздел 3 «Строительство. Транспорт». DOI: 10.52209/1609-1825_2025_2_196), вклад автора заключался в анализе научных источников по теме мобильных путепроводов, рассмотрении истории их развития, классификации, конструктивных особенностей и современного применения, систематизации зарубежного опыта их использования, а также в обосновании значения мобильных путепроводов в оперативном восстановлении движения при чрезвычайных ситуациях и проведении ремонтных работ на дорогах.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа изложена на 197 страницах машинописного текста, состоит из обозначений и сокращений,

введения, 5 разделов и заключения, включает в себя 113 рисунка, 27 таблиц, список использованных источников из 122 наименований и 3 приложений.

Диссертационная работа содержит новые научно обоснованные результаты, использование которых обеспечивает решение важной прикладной задачи - разработки конструкции и методики расчета ходовой части мобильного путепровода. По результатам диссертационного исследования были получены следующие выводы:

-проведен анализ причин возникновения дорожных заторов в крупных городах, показавший, что их значительная часть формируется на участках дорожных, коммунальных и аварийно-восстановительных работ.

-анализ применения мирового опыта, модульных и мобильных путепроводов показал эффективность мобильного путепровода в условиях проведения коммунальных, дорожных и аварийно-восстановительных работ на городской улично-дорожной сети;

-проанализирована ранее предложенная конструкция мобильного путепровода. Установлено, что при общей работоспособности конструкции ходовая часть не обеспечивает в полной мере требуемые показатели мобильности, точности позиционирования, устойчивости и безопасности при транспортировке и эксплуатации, что обосновывает необходимость разработки её нового конструктивного решения с возможностью перемещения.

-анализ конструкций ходовых частей транспортных средств подтвердил целесообразность применения зависимых подвесок, многоосных и тандемных схем, а также специализированных узлов фиксации и позиционирования, адаптированных к условиям эксплуатации мобильного путепровода;

-проведен морфологический анализ и синтез возможных конструкций ходовой части мобильного путепровода, что позволило выбрать наиболее перспективное конструктивное решение по совокупности основных эксплуатационных и конструктивных критериев;

-разработана принципиальная схема ходовой части путепровода на базе низкорамной двухосной конструкции с подвижными мостами, каретками, механизмом перемещения по двутавровым направляющим, системой фиксации и интегрированными подсистемами, обеспечивающими перевод путепровода из транспортного в рабочее положение и его устойчивость при эксплуатации;

-в программной среде SolidWorks разработаны чертежи основных элементов путепровода и ходовой части, а также создана полная трехмерная модель конструкции, включающая несущую платформу, раму, оси, подвеску, каретки и механизмы трансформации;

-в программной среде SolidWorks выполнено моделирование работы мобильного путепровода, по результатам которого установлено, что рациональной является ферменная схема несущей платформы, обеспечивающая высокую прочность при относительно малой массе. Виртуальная сборка подтвердила отсутствие взаимных пересечений элементов конструкции и корректную работу механизмов перемещения и фиксации;

-анализ напряженно-деформированного состояния и запаса прочности показал достаточную прочность и жесткость конструкции; установлено, что

возникающие напряжения и деформации не превышают допустимых значений, что подтверждает обоснованность принятого конструктивного решения;

-по результатам моделирования разработано конструктивное решение мобильного путепровода, обеспечивающее необходимое сочетание прочности, мобильности и технологичности при эксплуатации в условиях городской застройки.

-разработан и изготовлен экспериментальный стенд мобильного путепровода. Стенд включает несущую платформу, ходовую часть, передвижные каретки, механизм фиксации, систему управления, световую сигнализацию и элементы тормозной системы, что позволило обеспечить переход от расчетно-модельного этапа к экспериментальной проверке.

-результаты экспериментальных исследований на стенде подтвердили работоспособность конструкции: равномерное распределение нагрузок, отсутствие перегрузок и упругий характер деформаций;

-на основе теории подобия и анализа размерностей разработана система безразмерных критериев, обеспечивающая перенос результатов на конструкции других размеров и масштабов;

-разработана методика расчёта ходовой части путепровода, учитывающая транспортный и рабочий режимы эксплуатации, включая расчёт нагрузок, основных элементов конструкции, приводов и фиксаторов; показано, что предложенное конструктивное решение соответствует условиям транспортирования и эксплуатации и может быть использовано при создании мобильных путепроводов.

Таким образом, поставленные в диссертационной работе задачи решены в полном объеме. Разработанная конструкция ходовой части мобильного путепровода, результаты ее моделирования, экспериментальной проверки, система критериев подобия и предложенная методика расчета формируют научно-практическую основу для проектирования, изготовления и внедрения мобильных путепроводов, предназначенных для обеспечения непрерывности движения транспорта в условиях проведения дорожных, коммунальных и аварийно-восстановительных работ.